

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

институт

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Э.А. Петровский

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01.07 - Эксплуатация и обслуживание технологических объектов

нефтегазового комплекса

код – наименование направления

«Разработка технологических методов повышения надежности установки

коксования нефтяных остатков»

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

к. т. н., доцент

должность, ученая степень

А. К. Данилов

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.А Рощупкин

инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

институт

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Э.А. Петровский

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Рощупкину Владимиру Александровичу

Группа ЗНБ 12-02 Направление 21.03.01.07 Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового комплекса

Тема выпускной квалификационной работы: Разработка технологических методов повышения надежности установки коксования нефтяных остатков

Утверждена приказом по университету № \_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР к.т.н., А.К. Данилов, Кафедра «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса», доцент

Исходные данные для ВКР: Установка коксования, параметры установки, режимы коксования, условия эксплуатации, экологические требования;

Перечень рассматриваемых разделов ВКР: 1 Патентно-информационный обзор 2 Разработка эскизного проекта; 3 расчет параметров установки коксования нефтяных остатков; 4 Проектирование и разработка конструкции установки коксования нефтяных остатков.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: сборочный чертеж установки коксования нефтяных остатков - 1 лист А1; сборочный чертеж гидрорезака - 1 лист А1.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_   
подпись

А.К.Данилов   
инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_   
подпись, инициалы и фамилия студента

В.А. Рощупкин

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Студенту Рощупкину Владимиру Александровичу

Группа ГБ 13-04

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка технологических методов повышения надежности»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР А.К. Данилов, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Сборочный чертеж установки коксования нефтеостатка; рабочий чертеж гидрорезака ; базовый вариант технологического процесса и комплект технологической документации.

**Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):**

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы

Раздел 1 – Анализ установок коксования нефтяных остатков

Раздел 2 – Анализ способов усовершенствования способов коксования нефтяных остатков

Раздел 3 – Обзор экологичности производства нефтяного кокса и методы ее повышения.

Раздел 4 – Расчет установки коксования нефтяных остатков.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического и иллюстративного материала: Чертёж общего вида (1 лист формата А1), чертеж (1 лист формата А1), презентация (20 страниц).

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ А. К. Данилов

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ А. С. Кудинова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка технологических методов повышения надежности установки коксования нефтяных остатков» содержит 76 страниц текстового документа, 30 использованных источников, 4 листов графического материала.

КОКС, ТЯЖЕЛЫЕ НЕФТЕОСТАТКИ, ГИДРОВЫГРУЗКА, СВЕТЛЫЕ ДИСТИЛЯТЫ, РЕЦИРКУЛЯТ, ГУДРОНЫ, МАЗУТЫ.

Объект – установка коксования нефтяных остатков.

Цели проектирования:

Разработка установки замедленного коксования нефтяных остатков повышенной эффективности и надежности.

В данной выпускной квалификационной работе была усовершенствована модель установки замедленного коксования, представляющая собой вертикальный пустотелый адиабатический аппарат, который состоящий из цилиндрического корпуса, верхнего полушарового и нижнего конического днищ и опоры. Аппарат имеет люки: верхний - для ввода гидрорезака и нижний - для удаления кокса, а также несколько видов штуцеров.

В соответствии с целью работы решены следующие задачи:

- проведен анализ существующих способов получения нефтяного кокса
- произведен расчет установки коксования нефтяных остатков

разработана более эффективная система очистки используемых установкой вод

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Анализ установок коксования нефтяных остатков .....	8
1.1 Современные методы прогнозирования надежности оборудования ...	8
1.2 Обзор и анализ научно-технической и патентной литературы .....	11
1.2.1 Обзор и анализ технических решений .....	11
Патент РФ № 2425088.....	12
Патент РФ № 2528992.....	16
1.2.2 Обзор и анализ технологических решений.....	19
1.3 Способ переработки тяжелых нефтяных остатков и установка для его осуществления .....	27
Патент РФ № 2067605.....	28
Патент РФ № 2272063.....	30
Патент РФ № 2138534.....	36
1.4. Экологическая безопасность .....	43
1.4.1. Способы обработки технических вод .....	44
Патент РФ № 2094395.....	46
1.5. Выводы по обзору.....	51
2 Проект установки коксования нефтяных остатков.....	53
2.1. Расчет установки коксования нефтяных остатков .....	53
2.2. Кинетический и гидродинамический расчеты реакционных камер .	59
2.3. Расчетная часть .....	61
3 ВЫВОДЫ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	76

## ВВЕДЕНИЕ

Процессы коксования решают важнейшую задачу по углублению переработки нефти, увеличивая ресурсы сырья для производства моторных топлив, а также обеспечивая безотходность производства.

Согласно федеральной программе “Энергоэффективная экономика ТЭК” глубина переработки к 2020 году - до 85% “при значительном улучшении качества нефтепродуктов, обеспечивающем их конкурентоспособность”. Однако таких показателей нельзя достичь без включения в схемы заводов установок коксования .

Таким образом, в связи с дальнейшим углублением переработки нефти поиск путей совершенствования процесса замедленного коксования тяжелых нефтяных остатков является актуальным, так как именно этот процесс позволяет получать в больших количествах светлые дистилляты из остаточного сырья, а также не менее ценный продукт - кокс.

Целью данной работы является разработка технологических методов повышения надежности установки коксования нефтяных остатков.

Для поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести научно-технический и патентный анализ путей улучшения технико-технологических показателей;
- 2) проанализировать теоретические и инженерные основы процесса;
- 3) разработать новую технологическую схему производства;
- 4) произвести инженерно-технологические расчёты основной и вспомогательной стадий процесса;
- 5) проанализировать безопасность и экологичность производства.

## **1 Анализ установок коксования нефтяных остатков**

### **1.1 Современные методы прогнозирования надежности оборудования**

При промышленной эксплуатации оборудования нефтехимических производств неизбежно возникают повреждения или нарушения работоспособности его элементов несмотря на отсутствие дефектов изготовления и строгое соблюдение правил эксплуатации. Это объясняется особенностями нефтехимических производств: высокой коррозионной активностью технологических сред, высокими температурой, давлением и скоростью технологических потоков, наличием переменных температурных деформаций и сложного напряженного состояния металла оборудования. Кроме того, даже при соблюдении технологической дисциплины при эксплуатации оборудования неизбежны процентные разбросы состава сырья и реагентов, а так же содержания в них агрессивных компонентов; разбросы регулировок технологических параметров (температуры, давления, расхода и др.), обусловленные запаздыванием регулирования; колебания внешних воздействий (напряжения электропитания, температуры и давления технологического пара, охлаждающей воды и др.). Воздействие указанных факторов на протяжении длительного времени вызывает повреждение металла, и развитие микродефектов на поверхностях.

В некоторые моменты функционирования оборудования могут возникать такие сочетания параметров, которые нарушают его работоспособность, т.е. вызывают отказы. Традиционные методы прогнозирования надежности оборудования основаны на анализе



ретроспективной информации. Так, безотказность оборудования прогнозируют путем сбора информации и усреднения во времени частоты зафиксированных отказов. Прогнозирование долговечности (остаточного ресурса) осуществляют путем сравнения суммарной величины повреждений, возникших за длительный период эксплуатации, с предельно допустимой. Эти методы требуют длительных наблюдений за оборудованием при эксплуатации. Отказы нефтехимического оборудования обусловлены множеством причин. Для удобства анализа отказы можно разделить на три вида: механические, технологические и обусловленные ошибками (нарушениями) при эксплуатации, изготовлении или разработке оборудования.

К первому виду относят отказы, вызванные нарушением механической работоспособности оборудования вследствие изнашивания, коррозии, поломок деталей, нарушения формы элементов оборудования, возникновения недопустимых сопутствующих процессов - вибрации, стука, утечки технологической среды, перегрева подшипников и др. Данный вид отказов характерен для всех изделий машиностроения.

К технологическим относят отказы, обусловленные нарушением хода технологического процесса, выполняемого на данном оборудовании, приводящего к выпуску некондиционного продукта или нарушению функционирования оборудования.

Примерами таких отказов является закоксовывание труб в трубчатых печах, загрязнение фильтров и разделительных элементов в аппаратах мембранного разделения, приводящее к снижению их производительности, загрязнение катализатора в реакционных аппаратах, отложения на стенках и подвижных элементах машин и др.

Доля отказов третьего вида определяется в основном уровнем технологической дисциплины и культуры производства на конкретном предприятии.

Большая часть механических и технологических отказов (около 90%) проявляется постепенно в изменении одного или нескольких выходных параметров, поэтому их называют также параметрическими. Контролируемыми параметрами могут быть как непосредственно измеряемые величины повреждений (глубина коррозии стенок, износ детали), так и выходные параметры оборудования (производительность, коэффициент полезного действия, степень разделения, осветления, очистки) и другие количественные показатели качества продукта, параметры вибрации, шума, величина утечки среды через уплотнения и т. д.

Контролируя изменение этих параметров, можно по мере приближения их значений к предельно допустимым прогнозировать момент наступления следующего отказа. Некоторые методы прогнозирования по этому принципу стандартизованы.

Статистический анализ эксплуатационных параметров дает дополнительные возможности для выявления причин низкой надежности оборудования и разработки эффективных мер по их устранению: стабилизации наиболее влияющих параметров, созданию повышенных запасов до предельного состояния по этим параметрам и др.

Предварительный анализ стабильности (дисперсии) технологических параметров производств, для которых разрабатывается оборудование, позволяет создавать оборудование с гарантированными показателями надежности для конкретных условий.

## 1.2 Обзор и анализ научно-технической и патентной литературы

Коксование бывает периодическое, которое проводят в кубах, полунепрерывное - в необогреваемых камерах (замедленное коксование), а для производства дистиллятных продуктов осуществляют непрерывное контактное коксование на порошкообразном теплоносителе.

Широкое распространение получил метод замедленного коксования, так как в этом процессе наблюдается получение большого количества дистиллятов (что невозможно при периодическом коксовании) из остаточного сырья, без существенных потерь в качестве кокса, которое характерно для непрерывного коксования).

Основными направлениями по совершенствованию процесса замедленного коксования являются улучшение технико-технологических показателей, экологической обстановки и повышение качества продуктов.

### 1.2.1 Обзор и анализ технических решений

Реакторы являются основными аппаратами установок замедленного коксования (УЗК). В них происходит формирование и накопление нефтяного кокса - целевого продукта процесса, и, следовательно, правильно сконструированный аппарат определяет технико-экономические показатели работы установки в целом. Опыт эксплуатации показал, что высота реакторов порядка 30 м является предельной, так как при большей высоте возникают трудности в работе оборудования по выгрузке кокса, связанные со значительным поперечным отклонением резака внутри реактора, разбалансировкой штанги и системы полиспадов, вибрацией буровых

металлоконструкций. Поэтому, объем реакторов необходимо повышать за счет увеличения диаметра. Отношение высоты реактора к его диаметру целесообразно иметь в пределах 3,5-4,0. Современная тенденция увеличения диаметров реакторов, а, следовательно, и мощностей УЗК объясняется сокращением удельных капитальных и эксплуатационных затрат. Так, затраты на строительство УЗК с двумя реакторами диаметром 7 м на 30-40% меньше, чем установки той же мощности с четырьмя реакторами диаметром 4,6-5,5 м. Однако, излишне большой диаметр реактора вносит большие трудности в процесс разгрузки коксовых камер, поскольку в этом случае от гидрорезака требуется большая мощность и большой угол отклонения от центральной оси.

Известен реактор установки замедленного коксования, содержащий цилиндрический корпус с верхним и нижним днищами и штуцерами, и опору (1).

Недостатком известного реактора является то, что вследствие периодического характера работы и большого градиента (450-500°C) температур температурные линейные деформации корпуса реактора и опорной обечайки сопровождаются образованием трещин в сварном шве с возможной потерей устойчивости и аварийной ситуацией на установке.

### **Патент РФ № 2425088**

Известен реактор установки замедленного коксования, в конструкции которого нижние концы стоек жестко установлены на фундаменте, а верхние прикреплены к корпусу с помощью натяжных устройств, выполненных в

виде пружинного амортизатора с тягой и болтовым соединением. Такое техническое решение позволяет снизить температурные линейные деформации, снять сжимающие напряжения в стенке реактора и создать более стабильные условия его работы.

Недостатком этой конструкции стал тот факт, что в случае проведения процесса коксования под вакуумом возникают дополнительные сложности: возникают механические напряжения в материале стенок корпуса, связанные с увеличением амплитуды радиальных колебаний стенок корпуса реактора под воздействием внешнего давления, что может привести к растрескиванию сварных швов крепления реактора к опоре и между листами обечайек корпуса, что, в свою очередь, может привести к несанкционированному поступлению (подсосу) кислорода воздуха в реакционную зону объемом 500-1000 куб.м и аварийное положение на установке.

Техническим решением общей для этих случаев проблемы температурной деформации корпуса реактора станет поиск способов компенсации внешнего давления на стенки реактора и уменьшения амплитуды радиальных колебаний стенок под действием этого давления. Это достигается тем, что в реакторе замедленного коксования, нижние концы стоек жестко установлены на фундаменте, а верхние прикреплены к корпусу с помощью натяжных устройств. Натяжное устройство выполнено в виде шпильки и шарнирного соединения, ось шпильки направлена по радиусу реактора, при этом один конец шпильки закреплен на стенке реактора, а другой - в горизонтальной кольцевой обечайке. Причем, конец шпильки может быть закреплен на стенке реактора сваркой или посредством отрезка швеллера, приваренного своими полками к стенке реактора и связанного со шпилькой шарнирным соединением. Второй конец шпильки по первой и

второй модификация может быть закреплена в горизонтальной кольцевой обечайке с помощью шарнирного соединения. Шарнирное соединение может быть образовано гайкой, фигурной шайбой с односторонней сферической поверхностью с опорной стороны соединения и плоской шайбой.

Известно устройство ввода сырья в реактор для получения нефтяного кокса, включающее цилиндрическую обечайку с врезанным под углом к крышке штуцером (2).

Недостатком данного устройства ввода сырья в реактор является хаотичность движения потока сырья в реакторе, приводящая к большой неравномерности нагрева аппарата и качества получаемого кокса. Неравномерность нагрева аппарата приводит к возникновению деформаций в виде трещин, существенно снижающих надежность его работы, и нестабильности получаемого кокса.

Известно устройство ввода сырья в реактор для получения нефтяного кокса, включающее крышку, по центру которой подсоединена труба с установленным внутри патрубком, при этом межтрубное пространство заполнено легковесным бетоном (3).

Недостатком данного устройства ввода сырья в реактор является быстрое разделение потока сырья на хаотичные более мелкие струи, что приводит к неравномерности нагрева аппарата и качества получаемого кокса.

Решение возникшей проблемы кроется в повышении равномерности нагрева, охлаждения реакторов и однородности качества получаемого нефтяного кокса, что достигается тем, что в устройстве ввода сырья в реактор для получения нефтяного кокса, включающем крышку, по центру которой подсоединена труба с установленным внутри патрубком, последний выполнен в виде конической вставки с возможностью осевого перемещения,

а сама труба имеет форму раструба. Предлагаемое устройство ввода сырья в реактор для получения нефтяного кокса работает следующим образом: сырье коксования, подаваемое под давлением по трубопроводу через трубу и патрубок, выполненный в виде конической вставки, поступает в сжатом состоянии в реактор, формируя компактный сырьевой поток по вертикальной оси реактора. При движении сформированного потока снизу вверх происходит образование коксового пирога в реакторе. При заполнении сырьем на  $2/3$  высоты реактора его переключают на операцию пропарки получившегося кокса водяным паром. Одновременно патрубок, выполненный в виде конической вставки, перемещается вниз трубы. Водяной пар, поступая в реактор через трубу, имеющую форму расходящегося конуса, начинает с высокой скоростью расширяться за пределами раструба, увеличивая свое сечение, а значит, и площадь пропариваемого коксового пирога. При этом из кокса быстро удаляется основная масса жидких и парообразных продуктов. По окончании пропарки коническую вставку устанавливают в промежуточное положение к трубопроводу и начинают подавать воду в реактор для охлаждения кокса. Вода, двигаясь через коническую вставку и межтрубное пространство, равномерно распределяется по высоте образовавшегося кокса, производя его охлаждение. После охлаждения образовавшегося кокса производят его удаление из реактора.

Такое конструктивное выполнение устройства позволит при вводе сырья коксования в реактор через патрубок, выполненный в виде конической вставки, создать компактный сырьевой поток по оси реактора, обеспечив его перенос в концентрированном виде на большое расстояние, что дает возможность повысить однородность качества получаемого кокса и равномерность нагрева аппарата. Выполнение трубы в виде раструба

(расходящегося конуса) позволит за счет создания высокой кинетической энергии распространения водяного пара в массиве получившегося кокса произвести эффективное удаление летучих веществ, что также повысит однородность его качества. Промежуточное расположение конической вставки в раструбе при подаче воды позволит эффективно распределить водяной поток по высоте охлаждаемого коксового пирога, что обеспечит равномерность охлаждения стенок реактора.

Выполнение трубы в виде раструба (расходящегося конуса) позволит за счет создания высокой кинетической энергии распространения водяного пара в массиве получившегося кокса произвести эффективное удаление летучих веществ, что также повысит однородность его качества. Промежуточное расположение конической вставки в раструбе при подаче воды позволит эффективно распределить водяной поток по высоте охлаждаемого коксового пирога, что обеспечит равномерность охлаждения стенок реактора.

### **Патент РФ № 2528992**

Известна конструкция установки замедленного коксования патент РФ № 2528992, (рисунок 1.2.1)

Реактор замедленного коксования включает цилиндрический корпус с верхним (2) и нижним (3) днищами, кольцевую опору (22), разборный каркас, образованный стойками (10), скрепленными горизонтальными кольцевыми обечайками (11). Нижние концы стоек (10) жестко установлены на фундаменте (23), а верхние прикреплены к корпусу (1) с помощью натяжных устройств, которые выполнены в виде шпилек (12) и шарнирного



соединения. Ось шпильки (12) направлена по радиусу реактора. Один конец шпильки (12) закреплен на стенке корпуса (1), а другой - в горизонтальной кольцевой обечайке (11). Шарнирное соединение образовано гайкой, фигурной шайбой с односторонней сферической поверхностью с опорной стороны соединения и плоской шайбой.

Такая конструкция реактора позволяет компенсировать внешнее давление на стенки реактора и уменьшить амплитуды радиальных колебаний стенок под действием этого давления.

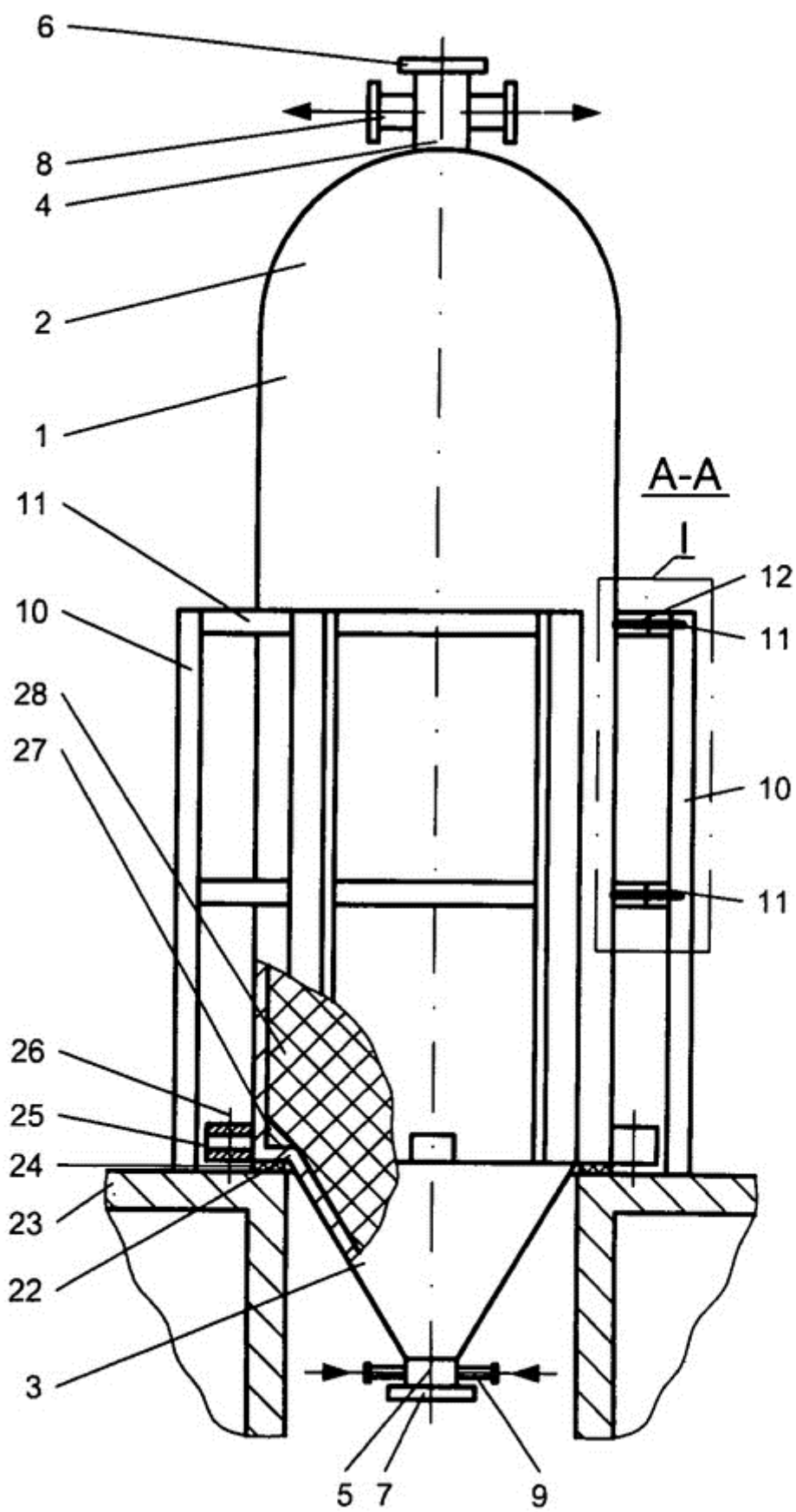


Рисунок 1.2.1.

## 1.2.2 Обзор и анализ технологических решений

Повышения качества кокса достигается за счет снижения содержания серы и золы в коксе и за счет улучшения его микроструктуры.

Существует несколько путей снижения содержания серы в коксе .

1. Добавление присадок (преимущественно карбонатов и гидроокисей щелочных металлов к сырью коксования.

2. Гидрообессеривание нефтяных остатков являющихся сырьем коксования.

3. Обессеривание нефтяных коксов с применением различных добавок.

4. Прокалка нефтяного кокса при температурах 1400-16000С в высокотемпературных печах различного типа.

5. Добавление к сырью коксования (гудрону) высокоароматических продуктов нефтепереработки и нефтехимии, позволяющих снизить содержание серы. Ими могут быть тяжелый газойль каталитического крекинга (ТГКК), тяжелая пиролизная смола (ТПС), экстракт селективной очистки масел. Кроме этого, вовлечение данных продуктов в сырье коксования позволяет увеличить его агрегативную устойчивость и снизить скорость коксоотложения в печах коксования .

Кроме того, опытно-промышленные испытания с использованием двухкомпонентного (гудрон/ТПС) и трехкомпонентного (гудрон/ТПС/ТГКК) сырья принесли положительные результаты:

- введение в гудрон ТПС (5,4; 8,5%) и ТГКК (6,3%) позволяет снизить содержание серы в нефтяном коксе в среднем с 1,51 до 1,32-1,34%;

- добавление в гудрон ТПС и ТГКК в меньшем количестве (соответственно, 4,7 и 2,6%) приводит к меньшему снижению содержания серы -- в среднем с 1,51 до 1,44%;

- введение в гудрон только одного компонента ТПС (5,9%) также позволяет снизить содержание серы в среднем с 1,51 до 1.39%;

Вообще оптимальное содержание компонентов в смесевом сырье для получения малосернистого нефтяного кокса составляет: ТПС - 6-8% и ТГКК - 5-10%.

Известен способ, когда состав сырья содержит тяжелую пиролизную смолу (2-20 мас.%), тяжелый газойль каталитического крекинга (2-20 мас.%) и гудрон - остальное. В результате наблюдается увеличение выхода целевых продуктов (светлых нефтепродуктов, нефтяного кокса и газообразных продуктов) при переработке нефтяных остатков и, как следствие, повышение глубины переработки нефти и улучшение качества светлых нефтепродуктов по показателям "массовая доля серы" и "октановое число" бензина, 4 табл.

Основным компонентом сырья для УЗК являются прямогонные нефтяные остатки - гудроны. На всех УЗК стоит задача увеличения выхода целевых продуктов.

Известен способ, (4) и (2), при котором показана возможность регулирования выхода целевых продуктов коксования за счет изменения глубины концентрирования гудрона в процессе вакуумной перегонки.

Недостатками данных технических решений являются:

- Снижение выхода светлых нефтепродуктов, ухудшение качества нефтяного кокса и быстрое закоксовывание змеевиков печей при утяжелении гудрона;

- Резкое снижение выхода нефтяного кокса и перегрузка

технологического оборудования при уменьшении глубины концентрирования гудрона. Кроме этого, уменьшение глубины концентрирования гудрона на установках АВТ сопряжено с сокращением отбора вакуумных погонных и, как следствие, уменьшением выработки таких ценных продуктов, как масла и высокооктановые бензины.

В способе, указанном в работе(5) предложено добавлять к гудрону экстракты селективной очистки масел.

Недостаток данного варианта это значительное снижение выхода кокса из-за низкой коксуемости экстрактов селективной очистки масел.

Существует способ, который предлагает добавлять к гудрону крекинг-остаток с установок термического крекинга. (6).

Недостатками данного технического решения являются:

- Дефицитность и высокая стоимость крекинг-остатка.
- Снижение выхода светлых нефтепродуктов.

Увеличение выхода целевых продуктов (светлых нефтепродуктов, нефтяного кокса и газообразных продуктов) при переработке нефтяных остатков и, как следствие, повышение глубины переработки нефти, и улучшение качества светлых нефтепродуктов по показателям "массовая доля серы" и "октановое число" бензина предлагается добиться путем подбора состава сырья коксования, который состоит из следующих компонентов, мас. %:

Тяжелая пиролизная смола - 2-20;

Тяжелый газойль каталитического крекинга - 2-20;

Гудрон - Остальное.

С введением новых компонентов, а именно тяжелой пиролизной смолы и тяжелого газойля каталитического крекинга, в определенном соотношении, нам удастся:

1. Увеличить суммарный выход светлых нефтепродуктов, кокса и газообразных продуктов.

2. Улучшить качество бензина и дизельной фракции коксования.

3. Повысить глубину переработки нефти.

Результаты анализа светлых продуктов коксования, показывают, что при добавлении к гудрону тяжелой пиролизной смолы и тяжелого газойля каталитического крекинга происходило значительное снижение содержания серы в бензине (на 0,08 мас.%) и дизельной фракции коксования (на 0,31 мас. %). Кроме этого наблюдается увеличение октанового числа бензина на 2,2 пункта.

Таким образом, предлагаемый состав сырья при переработке на УЗК за счет синергетического эффекта позволяет значительно увеличить выход целевых продуктов, улучшить качество бензина и дизельной фракции коксования, повысить эффективность работы установки и, в целом, глубину переработки нефти на НПЗ.

Экономические расчеты показывают, что использование тяжелой пиролизной смолы и тяжелого газойля каталитического крекинга в качестве компонентов сырья коксования, добавляемых к гудрону в указанных количествах, позволяет получить значительный экономический эффект.

Таблица 1.1.

## Фактические показатели качества для компонентов сырья коксования

Наименование показателей	Гудрон	Тяжелая пирролизная смола	Тяжелый газойль каталитического крекинга	Крекинг-остаток
1. Плотность при 20 °С по ГОСТ 3900, г/см <sup>3</sup>	0,970-0,983	1,044-1,072	0,961-1,000	0,960-0,980
2. Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм <sup>3</sup>	3-10	10-18	1-2	5-12
3. Коксуемость по ГОСТ 19932, %	10-12	10-12	0,5-1,4	10-14
4. Массовая доля серы по ГОСТ 1437, %	1,43-1,55	0,03-0,10 *	0,96-1,23	1,13-1,28
5. Массовая доля микро-элементов, ppm:				
ванадия	16-28	2	Менее 1	26-34
кремния	1-11	8	4	8-16
железа	1-8	5	3	1-9
никель	5-12	менее 0,5	менее 0,5	4-13

Таблица 1.2.

Данные по составу сырья коксования и выходу полученных продуктов

Переработанное сырье			Выход целевых продуктов коксования, % (масс.)					Газойли + техно- логиче- ские по- тери при перера- ботке, % (масс.)
№ п.п.	Наимено- вание ком- понентов сырья кок- сования	Содержа- ние ком- понентов в смесе- вом сы- рье, % (масс.)	Непре- дель- ный газ	Серо- водо- родсо- держа- щий газ	Свет- лые нефте- продук- ты (бензин + ди- зельная фрак- ция)	Нефтя- ной кокс	Сум- марно целе- вых продук- тов	
1	Гудрон	100	6,41	0,24	32,61	26,97	<b>66,23</b>	33,77
2 *	Гудрон	86,57	6,95	0,25	28,18	27,47	<b>62,85</b>	37,15
	Крекинг- остаток	13,43						
3 *	Гудрон	49,41	6,36	0,24	26,03	28,28	<b>60,91</b>	39,09
	Крекинг- остаток	50,59						
4	Гудрон	89,31	8,01	0,31	36,27	25,91	<b>70,50</b>	29,50
	ТПС **	4,07						
	ТГКК **	6,62						
5	Гудрон	88,37	6,75	0,24	38,10	26,27	<b>71,36</b>	28,64
	ТПС **	7,46						
	ТГКК **	4,17						



Таблица 1.3.

Сравнительные данные по качеству бензина коксования, полученного при коксовании сырья различного состава

Показатели	Сырье коксования	
	Гудрон	Смесь гудрона с ТПС и ТГКК в соотношении 88,3:7,5:4,2 (% (масс.))
1. Плотность при 20°C по ГОСТ 3900, г/см <sup>3</sup>	0,736	0,735
2. Фракционный состав по ГОСТ 2177, °C:		
начало кипения	46	45
10%	79	78
50%	123	122
90%	160	166
конец кипения	187	190
3. Массовая доля серы по ГОСТ 19121, %	0,58	0,50
4. Углеводородный состав, %масс. *:		
парафины	24,18	22,66
изо-парафины	22,91	21,46
ароматические	11,19	15,06
нафтены	21,73	19,47
олефины	20,11	20,39

Таблица 1.4.

Сравнительные данные по качеству дизельной фракции, полученной при коксовании сырья различного состава

Показатели	Сырье коксования	
	Гудрон	Смесь гудрона с ТПС и ТГКК в соотношении 88,3:7,5:4,2 (% (масс.))
1. Фракционный состав по ГОСТ 2177, °С:		
начало кипения	189	185
10%	208	206
50%	244	247
90%	301	307
96%	328	328
2. Массовая доля серы по ГОСТ 19121, %	1,04	0,73

### 1.3 Способ переработки тяжелых нефтяных остатков и установка для его осуществления

Способ включает предварительный нагрев первичного сырья в теплообменниках, нагрев первичного сырья в трубчатой печи, смешение первичного сырья с рециркулятом с образованием вторичного сырья. Вторичное сырье нагревают до температуры начала разложения в радиантном змеевике трубчатой печи. Дальнейший нагрев до заданной температуры процесса переработки проводят в охлаждаемом снаружи секционном трансферном трубопроводе, ведущем в реактор, путем смешения с предварительно нагретой паровоздушной смесью в количестве 1-12% на сырье. Паровоздушную смесь подают равномерно по длине секционного трансферного трубопровода. Продукты переработки из реактора направляют в ректификационную колонну. Установка включает теплообменники, печь для нагрева сырья, связанную с реактором секционным трансферным трубопроводом, и ректификационную колонну. Каждая секция трансферного трубопровода связана с линией ввода паровоздушной смеси и снабжена рубашкой охлаждения, сообщенной с линией подачи газойля-хладагента из ректификационной колонны. Установка дополнительно содержит печь для нагрева паровоздушной смеси и емкость для смешения первичного сырья с газойлем-рециркулятом. Такая конструкция предполагает снижение коксоотложений в змеевике печи и в трансферном трубопроводе с одновременным повышением конверсии сырья.

Известен способ переработки нефтяных остатков замедленным коксованием или висбрекингом (7) путем подогрева сырья в теплообменниках, конвективном змеевике печи, контакта с продуктами

крекинга-рециркулятом с образованием вторичного сырья, последующего нагрева в радиантном змеевике печи и подачи в реактор для увеличения конверсии сырья до заданной величины с получением на установке замедленного коксования (УЗК) 70-80% газа и дистиллята и 20-30% кокса и на установке висбрекинга (УВБ) - 18-40% газа и дистиллята и 60-82% котельного топлива

Недостатком такого способа и установки является то, что при переработке тяжелых нефтяных остатков змеевик печи, трансферный трубопровод, реактор висбрекинга на УВБ быстро закоксовываются и для восстановления работоспособности оборудования необходимы дополнительные эксплуатационные и капитальные затраты.

#### **Патент РФ № 2067605**

Известен способ переработки тяжелых нефтяных остатков для получения нефтяного кокса, включающий предварительный нагрев сырья в теплообменниках, конвективном змеевике трубчатой печи, смешение с рециркулятом, последующий нагрев вторичного сырья в радиантном змеевике печи до температуры коксования и подачу по трансферному трубопроводу в реактор на коксование.

Особенностью способа является подача воздуха в рециркулят или в смесь сырья с рециркулятом в количестве 2-9% на сырье. Данная установка состоит из типового оборудования, куда входят теплообменники, печь для нагрева сырья, реактор с трансферным трубопроводом и ректификационная колонна.

Недостатком данного способа и установки также является то, что с утяжелением исходного сырья возрастает опасность закоксовывания

змеевика печи и трансферного трубопровода в случае необходимости увеличения конверсии сырья, что влечет за собой снижение продолжительности работы установки и увеличение эксплуатационных и капитальных затрат, а также невозможность переработки таких тяжелых остатков как отходы нефтепереработки.

Для технического решения проблем, связанных с быстрым закоксовыванием змеевиков на этих установках подачу вторичного сырья в реактор осуществляют по секционному трансферному трубопроводу, нагрев вторичного сырья до температуры начала разложения 420-450°C проводят в радиантном змеевике трубчатой печи, а нагрев до заданной температуры процесса переработки - в охлаждаемом снаружи секционном трансферном трубопроводе путем смешения с газообразной добавкой, в качестве которой применяют предварительно нагретую паровоздушную смесь в количестве 1-12% на сырье, которую подают равномерно по длине секционного трансферного трубопровода.

Печь для нагрева сырья связана с реактором при помощи секционного трансферного трубопровода, каждая секция которого связана с линией ввода паровоздушной смеси и снабжена рубашкой охлаждения, сообщенной с линией подачи газойля-хладагента из ректификационной колонны, при этом установка дополнительно содержит печь для нагрева паровоздушной смеси и емкость для смешения первичного сырья с газойлем-рециркулятом.

Емкость для смешения первичного сырья с газойлем-рециркулятом может быть оснащена циркуляционной системой и выполнена в соответствии с изобретением по патентом РФ №2282657.

Нагрев вторичного сырья до температуры его разложения в радиантном змеевике печи (420-450°C) позволяет уменьшить тепловую нагрузку на печь

и тем самым снизить опасность ее закоксовывания и увеличить продолжительность работы.

Нагрев сырья до заданной температуры процесса переработки нефтяных остатков - коксования (480-530°C) или висбрекинга (460-500°C) в секционном трансферном трубопроводе с охлаждающей рубашкой в присутствии паровоздушной смеси, подаваемой равномерно в нескольких точках трубопровода, обеспечивает спокойное, управляемое ведение экзотермического процесса в трубопроводе в режиме бездымного окисления сырья и прямой тепломассообмен между продуктами окисления и сырьем, позволяющий проводить нагрев до заданной температуры процесса переработки в объеме потока реакционной массы, что исключает образование коксоотложений на внутренней поверхности трансферного трубопровода. Кроме того, рассмотренный режим проведения процесса позволяет управлять конверсией сырья и способствует образованию на внутренней поверхности охлаждаемого снаружи трансферного трубопровода защитного слоя из твердых застывших углеводородов (типа асфальтенов), что снижает опасность закоксовывания трубопровода и увеличивает продолжительность межремонтного пробега до плановых нормативов установок ЗК и ВБ.

Также предлагаемая технология позволяет использовать одну установку как для проведения процесса замедленного коксования, так и для проведения процесса висбрекинга, т.е. обладает универсальностью.

### **Патент РФ № 2272063**

Известен способ переработки тяжелых нефтяных остатков - висбрекинг, включающий нагрев нефтяного остатка до температуры

висбрекинга (450-485°C), выдержку продуктов висбрекинга в адиабатическом реакторе с получением газа, бензиновых фракций и остатка висбрекинга.

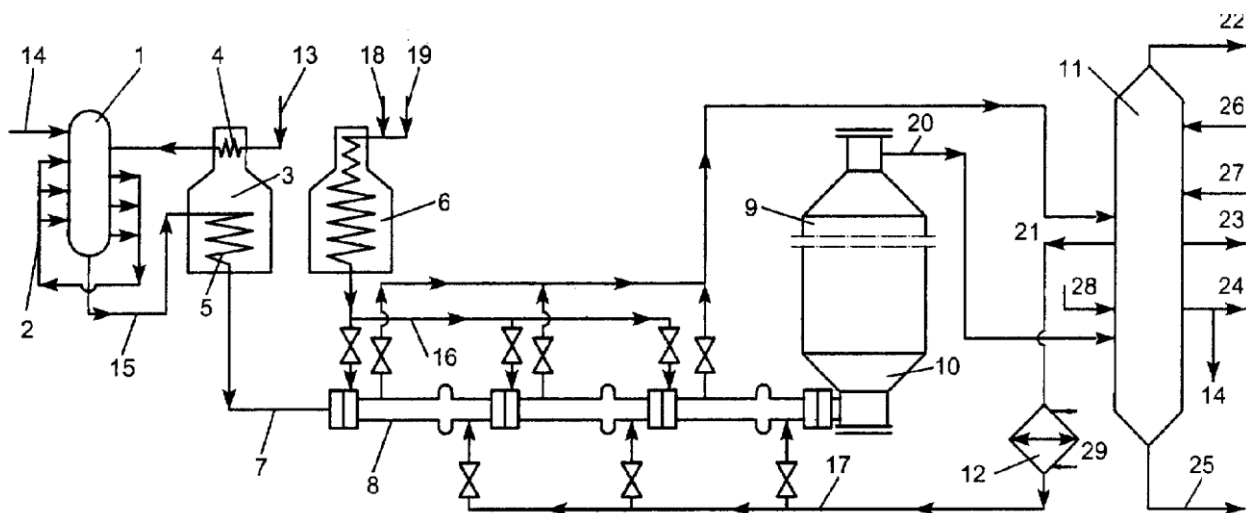


Рисунок 1.3.1

В приведенном способе процесс висбрекинга проводят в трубчатом реакторе аналогично проведению предлагаемого способа в трансферном трубопроводе и известное изобретение также направлено на снижение закоксовывания реактора. Эта задача решается в известном изобретении за счет увеличения скорости движения потока вследствие малого сечения трубы реактора.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом. Сырье предварительно нагревают в теплообменниках, конвективном змеевике печи до температуры 350-380°C и подают вместе с газойлем-рециркулятом в емкость, где они смешиваются циркуляционной системой. Вторичное сырье подают через радиантный змеевик печи, где оно нагревается до 420-450°C - температуры начала разложения сырья, в секцию трансферного

трубопровода с охлаждающей рубашкой, где в присутствии паровоздушной смеси, подаваемой по коллектору, оно разогревается до температуры коксования 485-530°C (если процесс направлен на получение дистиллятов или кокса) или температуры висбрекинга 460-500°C (если процесс направлен на получение котельного топлива) и далее - в конусную часть реактора.

Воздух и химочищенную воду в заданном соотношении подогревают в змеевике печи и в виде паровоздушной смеси подают по коллектору в секции охлаждаемого снаружи трансферного трубопровода. Количество паровоздушной смеси (1-12%) регулируют по заданной температуре продукта в конкретной секции охлаждаемого трансферного трубопровода или конусной части реактора, обеспечивая равномерный подъем температуры не более 50°C в час.

В реакторе за счет аккумулированного тепла и дополнительного теплоподвода при окислении кислородом воздуха части исходного сырья продолжается термодеструктивный процесс крекинга исходного сырья с образованием газа, бензина, легкого и тяжелого газойлей, кокса или котельного топлива. При замедленном коксовании коксовый пирог остается в реакторе, а остальные продукты покидают реактор и по шлемовому трубопроводу поступают в ректификационную колонну на разделение по компонентам. При висбрекинге продукты крекинга в жидкой фазе также по шлемовому трубопроводу поступают в колонну на разделение.

С верха колонны отбирают газ, пары бензина и воды, сбоку - газойль, тяжелый газойль, газойль-рециркулят, кубовый остаток - компонент котельного топлива, газойль-хладагент, а часть охлажденных продуктов, для обеспечения процесса ректификации возвращают в колонну.



Газойль, используемый в качестве хладагента, выводят из колонны, охлаждают водой в теплообменнике - холодильнике до температуры не более 160°C и направляют параллельными потоками по коллектору в рубашки охлаждения секций трансферного трубопровода, а затем возвращают в колонну. Подача хладагента синхронизирована с подачей паровоздушной смеси в эту же секцию и при отключении коллектора паровоздушной смеси прекращают подачу хладагента в рубашку охлаждения.

Фазовый состав реакционной массы определяют по ее высоте, перепаду давления, данным анализа жидкой фазы с низа колонны при вводе водяного пара или азота в реактор и выводу этого потока из него. Исчезновение перепада давления свидетельствует об образовании коксового пирога. После пропарки и охлаждения коксового пирога открывают верхний и нижний люки реактора и производят гидровыгрузку кокса на прикамерную площадку. После отбора проб и анализа кокса корректируют технологический режим следующего цикла коксования.

Процесс висбрекинга регулируют по минимальной вязкости кубового остатка с низа колонны.

Секция охлаждаемого трансферного трубопровода работает следующим образом. Поток вторичного сырья через фланец поступает в первую секцию трансферного трубопровода, куда через отверстие запорного пневматического клапана по линии вводят паровоздушную смесь в заданном количестве. В присутствии паровоздушной смеси происходит бездымный экзотермический процесс окисления части сырья и температура потока повышается до заданной для данной секции, количество паровоздушной смеси регулируют по температуре потока на выходе из секции, которую

замеряют термопарой . Газойль-хладгент с температурой не более 160°C поступает в рубашку через впускной патрубок , выходит нагретым через выпускной патрубок и далее - в колонну .

В качестве сырья использовали гудрон плотностью 998 кг/м<sup>3</sup>, коксуемостью 13%, условной вязкостью при 80°C - 250. Рециркулят - тяжелый газойль (плотностью 850 кг/м<sup>3</sup>, коксуемостью 0,3%) взят только в известном способе для составления вторичного сырья с коэффициентом рециркуляции (Kp) равным 1,2. В предлагаемом способе Kp=1,0.

Завершением опыта приняли повышение давления на входе в печи нагрева сырья и паровоздушной смеси на 25% от первоначальной величины. Первоначальное давление на входе в сырьевую печь составляло 2 МПа, на входе в трансферный трубопровод равнялось давлению в реакторе - 0,2 МПа. Начало и конец стадии коксования или висбрекинга в реакторе определяли по динамике поступления продуктов процесса - дистиллята и газа соответственно в сепаратор-приемник и газовые часы.

Анализ результатов опытных пробегов показал, что продолжительность пробега сырьевой печи и трансферного трубопровода по предлагаемому способу переработки тяжелых нефтяных остатков превышает известные способы на 60-80%. Кроме того, по предлагаемому способу путем регулирования расхода и состава паровоздушной смеси удается управлять продолжительностью стадии коксования, в частности сокращать в 2,5-4,3 раза время коксования при монолитном и в 6 раз при «зернистом» агрегатном состоянии коксового пирога при сохранении величины содержания летучих веществ в коксовом пироге в обоих случаях не выше, чем в известном способе (5,5<7,2; 4<7,2). При этом в предлагаемом способе удается увеличить выход дистиллята на 7-14,6% на сырье, снизить выход кокса на 9-

13% на сырье. При получении зернистого коксового пирога он может использоваться в качестве топлива,

По предлагаемому способу- висбрекингу удастся получить 83-90% на сырье котельного топлива марки М 100 с условной вязкостью при 80°С менее 16°Е и дистилляты-сырье для производства моторных топлив.

Таким образом, предлагаемые способ и установка позволяют увеличить продолжительность пробега змеевика печи более чем на 60%, сократить продолжительность стадии коксования в 2,5-6 раз без увеличения содержания в нем летучих веществ, увеличить выход дистиллята коксования на 7-14,6% на сырье, снизить выход кокса на 9-13% на сырье, а при переработке по варианту висбрекинга - получить котельное топливо и сырье для производства моторных топлив.

Кроме того, предлагаемые технологические решения универсальны, так как их можно реализовать на одной установке для переработки тяжелых нефтяных остатков как для получения нефтяного кокса или дистиллятов, так и для получения котельного топлива.

Среди прочих преимуществ предлагаемых решений отметим возможность утилизации отходов нефтепереработки, таких, например, как нефтешлам и асфальт, что позволяет расширить сырьевые ресурсы для производства моторных топлив и решить экологические проблемы, связанные с сокращением объемов нефтеотходов, загрязненных мехпримесями.

Известна установка для гидравлического удаления нефтяного кокса из реакторов замедленного коксования, включающая бурильную штангу с гидрорезаком и вертлюгом, сообщаемыми с системой подвода воды высокого давления, механизмы вращения и перемещения штанги (2).

Недостатком такой установки является то, что при открытом верхнем люке реактора, в процессе гидроудаления, вследствие наличия аэродинамического эффекта, происходит вынос аэрозоля, в виде коксовых частиц и углеводородов, в атмосферу, что приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала.

### **Патент РФ №2138534**

Известна установка для гидравлического удаления нефтяного кокса из реакторов замедленного коксования, включающая механизмы вращения и перемещения бурильной штанги, верхний конец которой закреплен на вертлюге, сообщаемся с системой подвода воды высокого давления, а на нижнем установлен гидравлический резак, при этом установка снабжена распылителем, выполненным в виде снабженной форсунками обечайки, охватывающей штангу с образованием кольцевого зазора и установленной с возможностью перемещения относительно штанги. Недостатком этой установки является необходимость монтажа и демонтажа распылителя, выполненного в виде обечайки, охватывающей штангу, перед гидроудалением кокса для открытия верхнего люка и для его закрытия после гидроудаления, что приводит к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала. Кроме того, операция по монтажу и демонтажу распылителя приводит к увеличению времени гидроудаления кокса из реакторов коксования.

Необходимо новое техническое решение, направленное на улучшение санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала при

гидроудалении кокса из реакторов установок замедленного коксования с одновременным сокращением времени на ее проведение.

Поставленная задача достигается тем, что в установке для гидравлического удаления нефтяного кокса из реакторов замедленного коксования, обечайка, внутренний диаметр которой больше диаметра гидрорезака, соединена с пароструйным аппаратом, оснащенным линиями подвода водяного пара и отвода парогазовой смеси, при этом последняя соединена с линией продуктов пропарки и охлаждения кокса из реактора замедленного коксования, связанной с блоком улавливания вредных выбросов. Предусмотрено между реактором замедленного коксования и обечайкой установить шиберную задвижку с приводом.

Установка для гидравлического удаления кокса из реактора замедленного коксования включает бурильную штангу, на нижнем конце которой закреплен гидрорезак с бурильными соплами и режущими соплами. Бурильная штанга снабжена обечайкой, охватывающей ее с образованием кольцевого зазора и соединенной линией с пароструйным аппаратом, оснащенным линией подвода водяного пара и линией отвода парогазовой смеси, соединенной с линией отвода продуктов пропарки и охлаждения кокса из реактора замедленного коксования и поступающей на блок улавливания вредных выбросов. Между реактором замедленного коксования и обечайкой размещена шиберная задвижка с приводом. Верхним концом бурильная штанга закреплена на вертлюге, соединенном через буровой рукав с трубопроводом подачи воды от насоса высокого давления. Для вращения бурильной штанги имеется ротор с приводом, а для ее подъема-опускания - лебедка с приводом.

Для охлаждения кокса в реакторе замедленного коксования предусмотрена линия подачи в него водяного пара и линия подачи воды.

Представленная установка работает следующим образом.

Перед началом гидроудаления кокс в реакторе замедленного коксования охлаждают сначала водяным паром, затем водой, при этом продукты пропарки и охлаждения кокса из реактора отводят на блок улавливания вредных выбросов. После завершения операции охлаждения кокса в реакторе включают привод шиберной задвижки и открывают верх реактора. Затем включают привод лебедки и опускают бурильную штангу с гидрорезаком в реактор, включают привод ротора и подают воду под высоким давлением из трубопровода через буровой рукав, вертлюг и бурильную штангу в гидрорезак. Вращая и перемещая гидрорезак в реакторе, сначала с помощью бурильных сопел производят бурение скважины в массиве кокса, затем выключают высоконапорный водяной насос и гидрорезак выводят за пределы скважины. После чего переключают гидрорезак на «резку» кокса с помощью режущих сопел и опускают его обратно в реактор, включают высоконапорный водяной насос и подают воду высокого давления из трубопровода через буровой рукав, вертлюг и бурильную штангу в гидрорезак. Вращая и перемещая гидрорезак, производят разрушение массива кокса в реакторе истекающими из режущих сопел высоконапорными водяными струями. В то же время парогазовая смесь с загрязняющими атмосферу веществами, неизбежно выделяющимися при гидроудалении кокса из реактора, поступая в обечайку, отсасывается пароструйным аппаратом, рабочим телом в котором является водяной пар, поступает на смешение с продуктами пропарки и охлаждения кокса из реактора, после чего весь поток отводят на блок улавливания вредных

выбросов, исключая вынос аэрозоли в виде коксовых частиц и других углеводородных соединений из реактора в атмосферу. После освобождения реактора от кокса выключается высоконапорный водяной насос и гидрорезак выводится в обечайку, после чего включается привод и закрывается шиберная задвижка.

Таким образом, соединение обечайки, имеющей диаметр больше диаметра гидрорезака, с пароструйным аппаратом, рабочим телом в котором является водяной пар, и последующий отвод парогазовой смеси в линию отвода продуктов пропарки и охлаждения кокса из реактора замедленного коксования на блок улавливания вредных выбросов позволяют при гидроудалении кокса из реакторов замедленного коксования исключается вынос аэрозоля в виде коксовых частиц и других углеводородных соединений из последнего в атмосферу и, как следствие, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда обслуживающего персонала. Кроме того, размещение между реактором и обечайкой шиберной задвижки заметно улучшает санитарные условия труда обслуживающего персонала во время открытия верхнего люка реактора после коксования перед гидроудалением кокса.

Установка для гидравлического удаления нефтяного кокса из реакторов замедленного коксования, включающая механизмы вращения и перемещения бурильной штанги, верхний конец которой закреплен на вертлюге, сообщаемся с системой подвода воды высокого давления, а на нижнем установлен гидравлический резак, снабженный обечайкой, охватывающей штангу с образованием кольцевого зазора, отличающаяся тем, что обечайка, внутренний диаметр которой больше диаметра гидрорезака, соединена с пароструйным аппаратом, оснащенным линиями подвода

водяного пара и отвода парогазовой смеси, при этом последняя соединена с линией продуктов пропарки и охлаждения кокса из реактора замедленного коксования, связанной с блоком улавливания вредных выбросов.

Установка для гидравлического удаления нефтяного кокса из реакторов замедленного коксования по п. 1, отличающаяся тем, что между реактором замедленного коксования и обечайкой установлена шиберная задвижка с приводом.





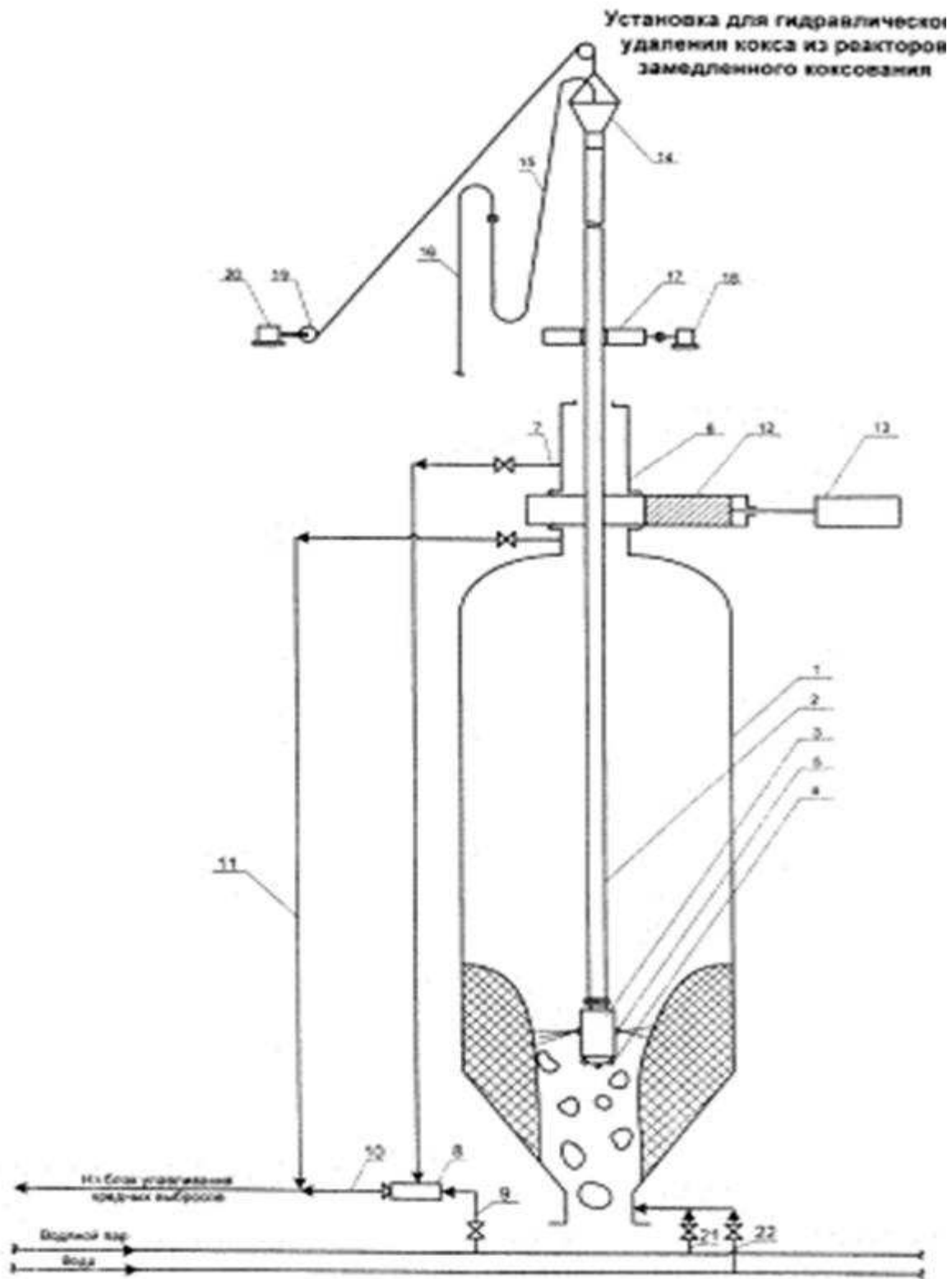


Рисунок 1.3.2.

#### 1.4. Экологическая безопасность

В технологическом процессе замедленного коксования одновременно участвует большое количество горючих и легковоспламеняющихся жидкостей, поэтому установка замедленного коксования является пожаро- и взрывоопасной, а используемые продукты (гудрон, крекинг-остаток, асфальт), обладают токсичными свойствами.

По классификации взрывоопасных производств установка производства кокса относится к категории «В-1а», т.е. к производству, где взрывоопасные смеси могут образоваться при авариях или неисправностях аппаратов и оборудования.

По противопожарной безопасности установка относится к категории А, то есть к производству, где имеются нефтепродукты с температурой вспышки менее 28° С (бензин коксования). Физические факторы такие, как повышенная температура поверхностей оборудования, электрический ток, движущиеся машины и механизмы, различные транспортно-подъемные устройства и перемещаемые грузы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования (приводные и передаточные механизмы).

Вредными для здоровья физическими факторами также являются: повышенная температура воздуха рабочей зоны, высокая влажность и скорость движения воздуха, повышенные уровни шума, вибрации, запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, недостаточная освещенность рабочих мест.

Химически опасные и вредные производственные факторы такие, как наличие общетоксических (нефтепродукты, углеводородный газ) веществ.

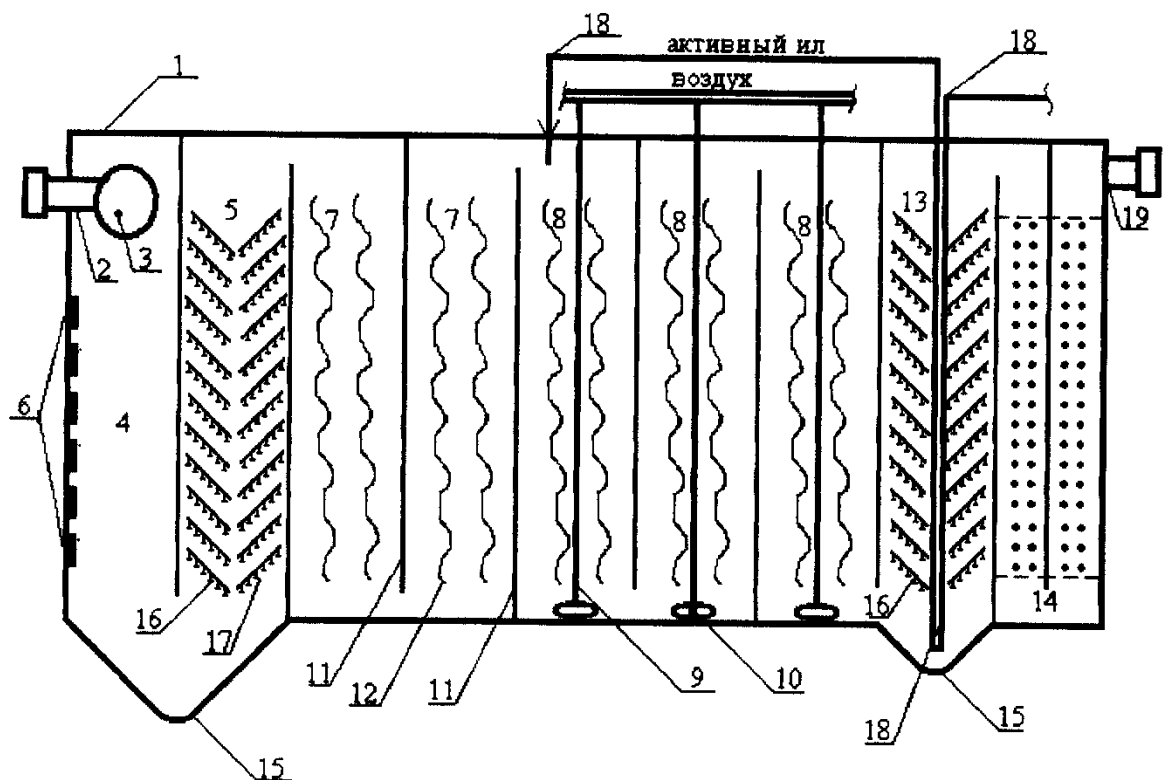
Наиболее опасными местами на установке являются: горячая насосная,

технологическая насосная, реакторный блок, блок колонн ректификации и трубчатая печь.

Основными моментами, определяющими опасность на установке, являются: токсичность продуктов, получаемых на установке (газ, бензин с температурой вспышки ниже 28°C, наличие коксовых камер, работающих при высоких температурах (450-500°C), то есть существует возможность получения ожогов и травм при снятии нижней и верхней крышек реактора, наличие огневой нагревательной печи, наличие высоких температур и давлений, образование статического электричества при движении газов и жидкостей по трубопроводам и в аппаратах.

#### **1.4.1. Способы обработки технических вод**

Установка биологической очистки сточных вод, которая может быть использована для очистки промышленных и бытовых сточных вод от широкого спектра растворенных и взвешенных органических соединений.



Установка состоит из системы подогрева, последовательно расположенной в корпусе по ходу движения сточной воды секцию отстаивания, разделенной перегородкой с образованием нижнего перелива на камеры первичного и тонкослойного отстаивания, секции анаэробной обработки воды, секции аэробной обработки воды с системой аэрации и секцию доочистки воды, включающую вторую камеру тонкослойного отстаивания. Секции анаэробной и аэробной обработки воды снабжены носителями для иммобилизации микроорганизмов. Все секции выполнены в виде ряда гидравлически сообщающихся смежных камер, разделенных вертикальными перегородками, причем, система подогрева установлена в камере первичного отстаивания, а камеры тонкослойного отстаивания снабжены насадкой в виде рядов параллельных наклонных пластин из полимерного материала со скользящей верхней поверхностью и ребрами жесткости на нижней поверхности. Параллельные наклонные пластины насадки установлены под углом не более  $90^\circ$  по отношению к пластинам

другого ряда, а ребра жесткости на нижней поверхности пластин выполнены на расстоянии 100-150 мм. Днища секций отстаивания и доочистки выполнены с конусообразными углублениями. Система аэрации секции аэробной обработки воды выполнена в виде дисковых аэраторов, установленных на воздуховодах, соединенных с источником сжатого воздуха. Технический эффект - повышение эффективности очистки сточных вод при обеспечении малогабаритности, мобильности и универсальности установки.

### **Патент РФ №2094395**

Известна установка биологической очистки сточных вод, содержащая прямоугольный корпус в виде емкости, включающей первичный отстойник, аэротенк с носителем прикрепленной микрофлоры, снабженный аэрационной системой, вторичный отстойник, систему рециркуляции активного ила и блок бактерицидной обработки очищенной воды

Недостатком известной установки является невысокая степень очистки, обусловленная отсутствием емкости для анаэробного сбраживания сточных вод, при котором происходит деструкция органических загрязнений до более простых веществ, что упрощает усвоение их аэробными микроорганизмами в аэротенке. Кроме того, в первичном отстойнике осаждаются только крупные взвешенные частицы, а мелкодисперсные взвешенные вещества, остающиеся в стоках, осаждаются в аэротенке и заиливают носители прикрепленной микрофлоры, что также снижает качество очистки.

Авт. св. СССР №1161481, МПК 7 С 02 F 3/00

Известна установка микробиологической очистки сточных вод, содержащая последовательно расположенные в корпусе секции анаэробной и аэробной обработки воды.

Недостатком известной установки является невысокая эффективность очистки сточных вод, обусловленная заиливанием носителей для иммобилизации микроорганизмов в результате осаждения взвешенных веществ. Заиливание носителей вызывает снижение концентрации биомассы на единицу объема, что приводит к снижению степени деструкции загрязняющих воду компонентов. Эффективность деструкции загрязнителей снижается также вследствие неудовлетворительной работы аэрирующей системы, подающей воздух в воду крупными пузырьками, что не обеспечивает достаточное количество растворенного кислорода в очищаемой воде и, таким образом, оптимальных условий для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов.

Требуется повышение эффективности очистки сточных вод при обеспечении малогабаритности, мобильности и универсальности установки.

Достижение требуемого результата на рассматриваемой установке микробиологической очистки сточных вод решается за счет того, что в корпусе перед секцией анаэробной обработки воды расположена секция отстаивания, разделенная перегородкой с образованием нижнего перелива на гидравлически сообщающиеся камеры первичного и тонкослойного отстаивания, секция доочистки включает вторую камеру тонкослойного отстаивания, при этом днища обеих секций выполнены с конусообразными углублениями, камеры тонкослойного отстаивания снабжены насадкой в виде рядов параллельных наклонных пластин из полимерного материала со скользящей верхней поверхностью и ребрами жесткости на нижней поверхности, а система подогрева установлена в камере первичного отстаивания.

Другими отличиями заявляемой установки микробиологической очистки сточных вод является то, что параллельные наклонные пластины насадки камер тонкослойного отстаивания установлены под углом не более  $90^\circ$  по отношению к пластинам другого ряда, а ребра жесткости на нижней поверхности пластин выполнены на расстоянии 100-150 мм. При этом система аэрации секции аэробной обработки воды выполнена в виде дисковых аэраторов, установленных на воздуховодах, соединенных с источником сжатого воздуха.

Принцип работы установки очистки вод.

Сточная вода поступает через входной патрубок корпуса в камеру гашения скоростного потока, где происходит снижение и выравнивание скорости потока, изменение направления его движения и первичное отделение наиболее крупных и тяжелых взвешенных веществ. Далее вода поступает в камеру первичного отстаивания для осаждения более крупных взвешенных веществ. Сточная вода, нагретая в камере первичного отстаивания с помощью системы подогрева до необходимой температуры, обеспечивающей оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, через нижний перелив поступает в камеру тонкослойного отстаивания для глубокого осветления воды. Скорость проходящего между пластинами насадки восходящего потока сточной воды, резко падает в результате столкновения с ребрами жесткости, выполненными на нижней поверхности пластин, в результате чего происходит “расслоение” потока и интенсивное осаждение взвешенных веществ на верхней скользящей поверхности нижележащих пластин, при этом, благодаря наклонному положению пластин, осадок стекает в конусообразное углубление днища. На верхних пластинах насадки оседают самые тонкие взвешенные вещества.



Одновременно в камере тонкослойного отстаивания, где обеспечены оптимальные температурные и другие условия для содержащихся в сточных водах анаэробных микроорганизмов (дрожжей, микроскопических грибов, сульфатредуцирующих и гнилостных бактерий), начинается процесс сбраживания растворенной органики и ее частичная деструкция до более простых соединений (аминокислот, фосфор- и азотсодержащих соединений). Основные процессы деструкции органических веществ происходят в секциях анаэробной и аэробной обработки воды с помощью свободноплавающих и иммобилизованных на носителях форм микроорганизмов - деструкторов конкретных видов загрязнений. Осветленная вода, с частично разложившейся органикой из камеры тонкослойного отстаивания, поступает через верхний перелив в первую камеру секции анаэробной обработки воды с иммобилизованными на носителях анаэробными микроорганизмами - деструкторами конкретных загрязняющих веществ, содержащихся в очищаемых стоках, где происходит более полное разложение растворенной органики до более простых веществ. После последовательного прохождения сточной воды через камеры секции анаэробной обработки осветленная сточная вода с разложившейся органикой поступает в секцию аэробной обработки, где происходит окончательное разложение органических веществ (окислительно-восстановительный процесс), в частности, денитрифицирующие микроорганизмы свободноплавающих и иммобилизованных на носителях форм разлагают азотистые соединения до нитратов и нитритов. При этом из-за отсутствия взвешенных веществ создаются благоприятные условия для биоценоза активного ила (отсутствия заиливания, застойных зон). В камеры секции аэробной обработки через воздухопроводы и мелкопузырчатые дисковые

аэраторы от источника сжатого воздуха поступает воздух в виде мельчайших пузырьков размером до 100 мкм, что необходимо для обеспечения жизнедеятельности аэробных микроорганизмов и удаления газообразных продуктов распада. Корпус имеет теплоизоляцию, что позволяет поддерживать постоянную температуру воды во всех камерах установки. В установке формируется трофическая цепочка, представленная биоценозом микроорганизмов, завершающим звеном которой являются хищные формы. В секции аэробной обработки в последней фазе очистки происходит полная минерализация активного ила, в результате чего он становится неспособным к загниванию, т.е. приобретает стабильные свойства. После секции аэробной обработки очищенная вода поступает в камеру тонкослойного отстаивания секции доочистки, где происходит осаждение иловых частиц в конусообразное углубление днища, откуда посредством эрлифта производится подача ила на рециркуляцию (система рециркуляции ила). Завершение процесса очистки происходит в камере фильтрации. Очищенную воду отводят через патрубок.

Результаты испытаний приведены в таблице.

Компонентный состав	Концентрация, мг/л	
	до очистки	после очистки
рН, ед.	5,5 – 9,5	7 – 7,5
ХПК, мг O <sub>2</sub> /л	900 - 2000	10 - 15
БПК5, мг O <sub>2</sub> /л	50 - 1200	3 - 5
Взвешенные вещества	110 - 400	1,8 - 5
Нитраты	0,2 - 10	0,8 – 4,2
Фосфаты	3 - 22	0,4 – 4,8
Нефтепродукты	5 - 20	0,05 – 0,3
ПАВ	2 - 10	следы

Эффективность очистки составила 98-99,8%. Очищенная вода соответствовала требованиям, предъявляемым к сточным водам для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения или для использования в системах оборотного водоснабжения.

### 1.5. Выводы по обзору

Оптимальным вариантом работы установок замедленного коксования (УЗК) при переработке нефтяных остатков является получение максимального количества целевых продуктов: светлых нефтепродуктов (сумма бензина и дизельной фракции), нефтяного кокса, газа. Бензин и дизельную фракцию используют в дальнейшем для приготовления товарных топлив. Нефтяной кокс отгружают потребителям для применения в различных отраслях промышленности. Непредельный газ применяют в качестве сырья для газофракционирующих установок и в качестве топливного газа, а сероводородсодержащий газ для производства серной кислоты. Оставшиеся после переработки сырья на УЗК газойли используют для приготовления топочных мазутов. Газойли являются нежелательными продуктами, т.к. снижают глубину переработки нефти и эффективность работы УЗК. Выход продуктов коксования зависит от состава и качества перерабатываемого сырья индивидуальных нефтяных остатков или смесей нефтяных остатков.

Предотвращение излишней закоксовываемости змеевиков и трубопроводов достигается путем охлаждения стенок реактора - трансферного трубопровода, что приводит к новому техническому

результату - созданию на внутренней стенке трансферного трубопровода (трубчатого реактора) защитной пленки из твердых застывших углеводородов, предотвращающей коксообразования, и подачи паровоздушной смеси, что еще более эффективно решает задачу снижения закоксовывания реактора.

Предлагаемая установка обеспечивает осуществление полного цикла очистки сточных вод с различными видами загрязнений с высокой степенью, является компактной, мобильной, удобной и устойчивой в эксплуатации.

Оборудование реактора разборным каркасом, горизонтальными кольцевыми обечайками, оснащенными натяжными устройствами, оси которых направлены по радиусу корпуса, позволяет компенсировать внешнее давление на стенки реактора и уменьшить амплитуду радиальных колебаний стенок под действием этого давления, что положительно сказывается на долговечности оборудования.

## 2 Проект установки коксования нефтяных остатков

### 2.1. Расчет установки коксования нефтяных остатков

Процесс замедленного коксования служит для получения из тяжелых остатков переработки нефти нефтяного кокса и широкой бензино-керосино-газойлевой фракции. Нагретое в печи сырье (смесь исходного сырья с рециркулирующей тяжелой газойлевой фракцией) поступает в пустотелый цилиндр - коксовую камеру. Продукты распада исходного сырья отводятся сверху камеры на ректификацию, а в камере накапливаются тяжелые жидкие остатки разложения сырья. При достижении пороговой концентрации асфальтенов в камере образуется коксовая масса. Время пребывания в камере различно для паровой и жидкой фаз. Компоненты газовой (паровой) фазы покидают зону высоких температур быстро, компоненты жидкой фазы находятся в камере практически до полного разложения на газофазные продукты и кокс.

#### 2.1.1. Сырье процесса. Требования к сырью

Сырьем установок коксования являются остатки перегонки нефти - мазуты, гудроны; производства масел - асфальты, экстракты; термokatалитических процессов - крекинг - остатки, тяжелая смола пиролиза, тяжелый газойль каталитического крекинга и др. Кроме того, за рубежом используют каменноугольные пеки, сланцевую смолу, тяжелые нефти из битуминозных песков и др.

Основными показателями качества сырья являются плотность, коксуемость по Конрадсону, содержание серы и металлов и групповой химический состав (см. табл. ). Коксуемость сырья определяет прежде всего

выход кокса, который практически линейно изменяется в зависимости от этого показателя. При замедленном коксовании остаточного сырья выход кокса составляет 1,5...1,6 от коксуемости сырья.

В зависимости от назначения к нефтяным коксам предъявляют различные требования. Основными показателями качества коксов являются содержание серы, золы, летучих, гранулометрический состав, пористость, истинная плотность, механическая прочность, микроструктура и др.

По содержанию серы коксы делят на малосернистые (до 1 %), среднесернистые (до 1,5 %), сернистые (до 4 %) и высокосернистые (выше 4,0 %); по гранулометрическому составу - на кусковой (фракция с размером кусков свыше 25 мм), «орешек» (фракция 8...25 мм) и мелочь (менее 8 мм); по содержанию золы - на малозольные (до 0,5 %), средnezольные (0,5...0,8 %) и высокозольные (более 0,8 %).

Содержание серы в коксе зависит почти линейно от содержания ее в сырье коксования. Малосернистые коксы получают из остатков малосернистых нефтей или подвергнутых гидрооблагораживанию. Как правило, содержание серы в коксе всегда больше ее содержания в сырье коксования. Содержание золы в коксе в значительной мере зависит от глубины обессоливания нефти перед ее переработкой. Теоретические основы (химизм, механизм реакций и влияние технологических параметров).

Продукты процесса замедленного коксования.

Газ - содержит много непредельных, имеет такое же применение, как и газ термического крекинга.

Бензин имеет ОЧ = 68-72 п. И содержит много непредельных, используется как компонент низкосортных бензинов (после гидроочистки).

Легкий газойль - после гидроочистки используется как компонент дизельных или тракторных топлив

Тяжелый газойль - компонент котельного топлива или в качестве сырья термического крекинга, каталитического крекинга.

Кокс - основной целевой продукт процесса замедленного коксования. В больших количествах он используется в алюминиевой промышленности как наполнитель анодной массы. Высококачественный сорта кокса используются для производства графитированных электродов, используемых при выплавке стали и других металлов.

Основное целевое назначение УЗК - производство крупнокускового нефтяного кокса. Наиболее массовыми потребителями нефтяного кокса в мире и в нашей стране являются производства анодной массы и обожженных анодов для алюминиевой промышленности и графитированных электродов для электросталеплавления. Широкое применение находит нефтяной кокс при изготовлении конструкционных материалов, в производстве цветных металлов, кремния, абразивных (карбидных) материалов, в химической и электротехнической промышленности, космонавтике, в ядерной энергетике и др.

Кроме кокса, на УЗК получают газы, бензиновую фракцию и коксовые (газойлевые) дистилляты. Газы коксования используют в качестве технологического топлива или направляют на ГФУ для извлечения пропан-бутановой фракции - ценного сырья для нефтехимического синтеза. Получающиеся в процессе коксования бензиновые фракции (5-16% масс.) характеризуются невысокими октановыми числами (примерно 60 по м.м.) и низкой химической стабильностью (более 100г I<sub>2</sub>/100г), по повышенным содержанием серы (до 0,5% масс.) и требуют дополнительного

гидрогенизационного и каталитического облагораживания. Коксовые дистилляты могут быть использованы без или после гидрооблагораживания как компоненты дизельного, газотурбинного и судового топлив или в качестве сырья каталитического или гидрокрекинга, для производства малозольного электродного кокса, термогазойля и т.д.

Процесс замедленного коксования является непрерывным по подаче сырья на коксование и по выходу газообразных и дистиллятных продуктов, но периодическим по выгрузке кокса из камер. Установки замедленного коксования состоят из следующих отделений: нагревательно-реакционно - фракционирующее, где осуществляется собственно технологический процесс коксования сырья и фракционирование его продуктов, и отделение по механической обработке кокса, где осуществляется его выгрузка, сортировка и транспортировка.

Исходное сырье предварительно нагревается в конвекционной части трубчатой печи до 270--300 °С и подается в нижнюю часть ректификационной колонны для дополнительного нагрева за счет контакта с более горячими парами, поступающими из коксовых камер. При этом тяжелая часть паров конденсируется, образуя рециркулят, и вместе с нагретым до - 390 °С сырьем насосом подается в радиантную секцию трубчатой печи 5. Продолжительность и интенсивность нагрева сырья должны быть такими, чтобы исключить закоксовывание печных труб. Нагретое до 495--515 °С вторичное сырье из печи поступает в одну из коксовых камер, в которой происходит глубокое разложение его с образованием кокса и летучих компонентов, отводимых в ректификационную колонну. Подачу сырья в камеру прекращают по сигналу радиоактивного прибора, указывающего уровень коксующейся массы над



слоем кокса. Пока одна из камер наполняется коксом, из другой производится его выгрузка. Вначале с помощью бурового оборудования в слое кокса пробуривают скважину, в которую вставляют гидравлический резак, снабженный соплами. Резка кокса осуществляется струей воды, выходящей из сопел под давлением до 15--20 МПа. Кокс в виде кусков различных размеров падает на дренажную площадку для отделения от воды. Затем он дробится на куски размером не более 200 мм, классифицируется на фракции 0--25 мм и 25--200 мм и транспортируется на склад либо на установку прокаливания.

Размеры коксовых камер и режим процесса подбирают таким образом, чтобы выгрузка кокса и другие операции производились ежедневно в одно и то же время. Обычно устанавливают коксовые камеры следующих размеров: высота -- до 30 м, диаметр -- от 4 до 9 м. В литературе указывается на возможность и целесообразность применения в некоторых случаях специального узла подготовки сырья к коксованию (повышение коксующести путем отгона легких фракций или окисления гудрона воздухом, гидрообессеривание газойля). Производительность установок замедленного коксования обычно составляет 0,3 и 0,6 млн. т в год, но может достигать 1,5 млн. т в год. На установках с низкой производительностью требуются две или три коксовых камеры при одной трубчатой печи. Для мощных установок число камер может быть равным 4--6. В этом случае предусматривается параллельная работа камер и нагревательных печей. Число аппаратов определяется расчетным путем.

Для четкого выделения сухого газа в схеме установки рекомендуется предусматривать фракционирующий абсорбер и стабилизационную колонну. В промышленной практике коэффициент рециркуляции регулируют за счет

подачи части первичного сырья в низ ректификационной колонны в холодном состоянии. Известна промышленная установка замедленного коксования, работающая с теплоносителем -- тяжелым газойлем, нагреваемым до 515 °С и подаваемым вместе со вторичным сырьем в коксовые камеры. Это позволяет повысить механическую прочность кокса и улучшить показатель выхода летучих веществ, увеличить продолжительность работы змеевика печи без его закоксовывания. С этой же целью предусматривается подача силоксановой присадки ПМС-200А в количестве 3--5 г/т и турбулизатора -- водяного пара. Расход пара достигает 1--5% (масс.) от сырья. Применение водяного пара уменьшает выход кокса и несколько ухудшает его структуру. Для предотвращения отложений кокса в шлемовую линию возможна подача холодного газойля коксования. При подборе аппаратов и оборудования следует выбирать: печи с объемно-настильным (тип ПГ15П02) либо вертикально- факельным пламенем (тип ПГ18П), ленточный конвейер для транспортирования кокса, конденсаторы-холодильники с воздушным охлаждением. Необходимо стремиться к максимальному использованию тепла технологических потоков и дымовых газов, предусматривая получение водяного пара высокого давления.

Для производства нефтяного кокса используют остатки, имеющие плотность 990--1020 кг/м<sup>3</sup>, коксуемость по Конрадсону 4--10% (масс.) и содержащие 0,4--2,5% (масс.) серы. Чем выше коксуемость сырья, тем более высокими должны быть технико- экономические показатели процесса. Если кокс предназначается для изготовления графитированной продукции, в качестве сырья установок замедленного коксования применяют дистиллятные крекинг- остатки с низким содержанием серы и зольных элементов. При коксовании дистиллятного крекинг-остатка для получения

высококачественного кокса рекомендуется вести процесс при повышенном давлении. (0,05--0,08 МПа) и большом количестве рециркулируемого газойля без применения турбулизатора

## 2.2. Кинетический и гидродинамический расчеты реакционных камер

Предварительно необходимо провести технологический расчет реакционного змеевика печи для нагрева вторичного сырья. Отличие состоит лишь в том, что вторичное сырье должно нагреваться до температуры 495--515 °С за более короткое время--120 с. Оптимальной скоростью движения сырья на входе в реакционный змеевик считается 1,0--1,6 м/с, что достигается подачей турбулизатора -- водяного пара. Цель расчета -- установление размеров коксовых камер, определение времени заполнения камеры коксом, составление графика работы реакторов и определение температуры верха реактора. Вначале составляют материальный баланс коксовых камер с учетом рециркуляции непревращенного сырья и подачи турбулизатора. Исходя из размеров камеры находим ее рабочий объем  $V$ . Рекомендуется принимать высоту конической части  $H_k=0,9--1,0$  м и диаметр  $d=1,6--2,0$  м. Определяют продолжительность заполнения камеры коксом. Найденная продолжительность заполнения камеры коксом должна быть достаточной, чтобы соседнюю камеру успеть освободить от кокса и подготовить ее к работе.

Из теплового баланса коксовой камеры определяют температуру паров на верху аппарата. Вычисляют потери тепла в окружающую среду. Температура верха реактора рассчитывается методом подбора. С этой целью

принимают ожидаемое значение температуры верха и для принятой температуры вычисляют количество тепла, уносимое парами из камеры. При несоблюдении условий теплового баланса задаются новым значением температуры и находят соответствующее ей количество тепла. Для облегчения решения данной задачи можно построить графическую зависимость температуры верха от расхода тепла. Для принятых размеров коксовой камеры находят фактическую скорость паров в верхней части реактора, которая должна быть в пределах 0,10--0,20 м/с. Если окажется, что она больше 0,20 м/с, необходимо задаться более высоким значением диаметра коксовых камер и расчеты повторить. Другой возможный вариант установления рабочей скорости паров в коксовой камере заключается в расчете скорости витания карбоидных частиц, находящихся в пенном слое. С этой целью вначале определяют плотность и вязкость паров, находят критерий Архимеда. Между критерием Архимеда и модифицированным критерием Рейнольдса существует. Находят скорость витания частиц. Рабочую скорость паров устанавливают не выше  $0,9U_v$ , чтобы не допустить уноса карбоидных частиц в ректификационную колонну и последующего попадания их во вторичное сырье. В момент окончания цикла коксования слой пены не должен доходить до верха камеры. По практическим данным высоту заполнения коксом надо принимать на 3,5--4,0 м ниже верха цилиндрической части камеры. Выход и качество продуктов замедленного коксования в основном зависят от вида сырья, температуры, давления и коэффициента рециркуляции. Наиболее надежные результаты по выходу и качеству сырья можно получить по практическим данным.

График работы реакционных камер

При составлении графика работы реакционных камер следует исходить из опыта эксплуатации промышленных установок замедленного коксования (табл.2.1).

Как видно из данных табл. 2.1., длительность большинства отдельных операций на разных установках примерно одинаковая. Наибольшие различия наблюдаются в продолжительности разгрузки камер, что объясняется применением разной, техники бурения и резки кокса.

### 2.3.Расчетная часть

Расчет реакционных камер установки замедленного коксования

Составить материальный и тепловой баланс коксовых камер, рассчитать число и технологические размеры их; определить продолжительность заполнения одной камеры коксом и провести гидравлический расчёт камер.

Исходные данные:

Производительность установки по гудрону  $G=92$  т/ч;

Коэффициент рециркуляции  $k_p=1,9$ ;

Давление на выходе сырья в камеру  $P=0,35$  Мпа;

Температура вторичного сырья на входе в коксовые камеры  $t=490$ °C;

Турбулизатор-водяной пар в количестве 2,5% (масс.) от сырья

Принимаем по данным следующий выход продуктов (% масс. от сырья): газ-7, бензин-12, лёгкий газойль-32,5, тяжёлый газойль-26,5, кокс-22; потери исключены.

Плотность коксового слоя с К.С. = 0,85 т/м<sup>3</sup>

Материальный баланс реакционной камеры

Составляем материальный баланс работающей реакционной камеры  
(табл.2.1).

Таблица 2.1. Качество первичного и вторичного сырья

Компоне нт	Пределы выкипания, °С	t, °С	М	ρ, кг/ м <sup>3</sup>	χ <sub>i</sub>
Первичн ое сырьё					
Легкий газойль	200-350	28 0	22 0	890	0,020 0
Тяжелый газойль	350-480	41 5	34 0	950	0,040 0
Остаток	480	56 0	55 0	1045	0,940 0
Вторичн ое сырьё					
Бензин	35-200	11 5	10 8	755	0,006
Легкий	200-350	28	22	895	0,040

газойль		0	0		0
Тяжелый газойль	350-480	41	34	955	0,117
газойль		5	0		4
Рециркулят	?480	50	46	1000	0,214
ят		0	0		2
Остаток	?480	56	55	1045	0,627
		0	0		8

Таблица 2.3. Материальный баланс реакционной камеры

Показатели	т/ч	% (масс.)	т/сут.
Взято			
Легкий газойль	1,84	1,64	44,16
Тяжелый газойль	3,68	3,29	88,32
Рециркулят	20	17,86	480
Остаток	86,48	77,21	2075,52
Водяной пар	2,8	2,5	67,2

Прочие	114,8	102,5	2755,2
Получено			
Газ	6,44	5,75	154,56
Бензин	11,04	9,86	264,96
Легкий газойль	29,9	26,69	717,6
Тяжелый газойль	24,38	21,77	585,12
Рециркулят	20	17,86	480
Кокс	20,24	18,07	485,76
Водяной пар	2,8	2,5	67,2
Прочие	114,8	102,5	2755,2

### Определение основных размеров камеры коксования

Необходимо определить количество камер одновременно включенных на реакцию. Диаметр камеры должен быть таким, чтобы высота одной камеры была больше его в 4-5 раз. Общее число камер принимается удвоенным т.к в одних камерах идет реакция, а из других в это время выгружается кокс.

#### 1. Определение диаметра камеры

где:  $V_C$  - объем паров в камере, м<sup>3</sup>/с

$w$  - скорость паров в камере, приняли равную 0,15 м/с

где:  $t$  - температура сырья, °С



PO - давление в камере, 3,5 ати

GC - количество сырья, кг/с

GB.П. - количество водяного пара, поступающего из печи, кг/с

M - молекулярный вес сырья

$$M = 60 + 0,3t + 0,001 t^2,$$

Где t - средняя температура кипения сырья, 515 °С.

$$M = 60 + 0,3 \cdot 490 + 0,001 \cdot 490^2 = 447,1 \text{ г/моль}$$

Принимаем  $D = 4 \text{ м}$ .

2. Определение объема кокса образовавшегося в камере за 1 сутки

где G - производительность камеры по коксу, т/сут.

сКС - плотность коксового слоя

3. Определение реакционного объема камеры

где: - объемная скорость сырья, принимаем равную 0,16 ч<sup>-1</sup>

VСЫРЬЯ - объем сырья, м<sup>3</sup>/ч

4. Определение объема кокса образующегося за 1 час

5. Определение приращения высоты коксового слоя в камере за 1 час

где: F - площадь поперечного сечения коксовой камеры, м<sup>2</sup>

6. Высота коксового слоя в занимаемой камере

7. Определение высоты цилиндрической части по реакционному объему

8. Проверка выполнения условия заполнения цилиндрической части камеры на 70-90%

$$57,24 - 100 \%$$

$$45,6 - xx = 79,67 \%$$

9. Проверка выполнения условия по соотношению диаметра и высоты камеры

Условие не выполняется, следовательно, необходимо на данную производительность ставить не менее двух камер на один поток, значит высота цилиндрической части 1 камеры равна:

10. Определение общей высоты камеры

Тепловой баланс реакционной камеры

Принимаем температуру паров на выходе из реакционной камеры равную 460 °С, тогда средняя температура кокса в камере составит 475 °С  $((490+460)/2)$ .

$G_i$ - массовый расход по  $i$ - компоненту, кг/ч,  $M_i$ - молярная масса компонента,  $t_i$ - средняя температура выкипания фракции,  $\rho$ - плотность фракции, кг/м<sup>3</sup>,  $G_i / M_i$  - мольный расход по  $i$ - компоненту, моль/ч,  $x'_{Fi}$ - мольная доля компонента в сырье,  $x_{Fi}M_i$ - массовая доля компонента в сырье,  $P_t$  - давление компонента при температуре 500 °С,  $K_{pt}$ - константа равновесия при температуре 500 °С,  $x'_i$ - мольная доля компонента в паровой фазе,  $x_i$ - мольная доля компонента в жидкой фазе,  $M_i x'_i$ - массовая доля компонента в паровой фазе,  $G_{xi}$  - массовый расход по  $i$ - компоненту в жидкой фазе, кг/ч,  $G_{yi}$ - массовый расход по  $i$ - компоненту в паровой фазе, кг/ч

Принимаем долю отгона сырья на входе в реакционную камеру  $e'=0.56$  и проверяем правильность принятого значения. Результаты расчёта сводим в таблице 4.

Проводим пересчёт мольной доли в массовую:

$$e = 1 - (0,02 \cdot 220 + 0,04 \cdot 355 + 0,94 \cdot 540)(1 - 0,56) / 303,413 = 0,237.$$

Количество жидкой фазы  $G_x = 114800(1 - 0,237) = 87592,4$  кг/ч.

Плотность жидкой фазы равна

$$\rho_x = 87592,4 / (157,67/890 + 1226,29/950 + 15591,45/1000 + 70687,07/1045) = 1034,112 \text{ кг/м}^3$$

Составляем тепловой баланс камеры, чтобы найти температуру паров на выходе из неё.

Температура ввода сырья в камеру  $t_C = 490 \text{ }^\circ\text{C}$ ; теплоемкость сырья  $CC = 2,09 \text{ кДж/кг}$ ; тепловой эффект реакции отрицательный  $QR = -130 \text{ кДж/кг}$

Таблица 2.4. Тепловой баланс

Наименование	t, C	i, кДж/кг	G, кг/с	Q, кВт
Приход Сырье, Q <sub>1</sub>	490	1076,35	31,89	320658,55
Расход	465,4	1389,92	20,71	26987,62
Парообразные продукты, Q <sub>2</sub>	-	130	31,89	4145,7
Тепловой эффект реакции, Q <sub>3</sub>	475	625	5,62	3336,875
Кокс, Q <sub>4</sub>	-	-	-	718,49
Потери, Q <sub>5</sub>				
Итого:				67847,235

t- температура, °C, i- энтальпия, кДж/кг, G - массовый расход, кг/с, Q- количество тепла в единицу времени, кВт

Расшифровка теплового баланса

Определение тепла внесенного в камеру сырьем

$$Q_1 = G c t,$$

Где  $C$  - теплоемкость сырья, 2,09 кДж/кг;  $t$  - температура сырья,  $^{\circ}C$

$$i = c t$$

Определение тепла унесенного парообразными продуктами коксования

$$Q_2 = G_2 c t,$$

Где  $C$  - теплоемкость продуктов коксования;  $t$  - температура парообразных продуктов коксования,  $^{\circ}C$

Тепло, затраченное на реакцию

$$Q_3 = Q_P G$$

Тепло, унесенное коксом

$$Q_4 = G_4 C_K t, \text{ где } C_K - \text{теплоемкость кокса, } 1,25 \text{ кДж/кг}$$

Потери тепла составляют 2,2 % от прихода с сырьем

Температура парообразных продуктов коксования на выходе из коксовой камеры определяется из теплового баланса

Температура парообразных продуктов на выходе из камеры должна быть ниже температуры сырья на входе на 30-60  $^{\circ}C$ , следовательно расчет выполнен верно.

Принимаем коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляции в окружающую среду  $b=33$  кДж/( $m^2 \cdot ч \cdot K$ ) и разность температур между изоляцией и окружающей средой,  $\Delta t=50$   $^{\circ}C$ . Наружная поверхность изоляции  $S=600m^2$ .

$$Q_y=33 \cdot 50 \cdot 600=1 \cdot 106 \text{ кДж/ч.}$$

Результаты определения расхода тепла из коксовой камеры сводим в таблице 6. Как видно, расход тепла при 460  $^{\circ}C$  равен общему количеству

тепла, выводимому в реакционную камеру. Поэтому считаем принятую температуру правильной.

Рассчитываем линейную скорость паров в верхней части камеры

Для этого определяем объём паров  $G'$ (м<sup>3</sup>/с) по уравнению

Таблица 2.5. Расход тепла из коксовой камеры при 485°С

Компонент	кг/ч	кДж/кг	10-6кДж/ч
Газ	6440	1598	10,29
Бензин	11040	1535	16,946
Лёгкий газойль	29900	1450	43,355
Тяжелый газойль	24380	1419	34,595
Рециркулят	20000	1390	27,8
Кокс	20240	725	14,674
Водяной пар	2800	3469	9,713

## Заключение

Процесс ЗК на протяжении XX века являлся и в настоящее время остается одним из способов углубления переработки нефти, что обуславливается как большой потребностью в коксе, так и отсутствием дешевых каталитических методов переработки тяжелых нефтяных остатков из-за высокого содержания в них металлов-ядов катализаторов. Общая мировая мощность установок ЗК ныне составляет ~ 140 млн т/год, что эквивалентно выработке ~ 40 млн т/год кокса.

### 3 ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ теоретических и инженерных основ процесса замедленного коксования тяжелых нефтяных остатков и научно-технический и патентный анализ путей улучшения технико-технологических показателей процесса. Выяснено, что установка циклона на линии отвода парогазовых продуктов коксования из реактора позволит увеличить производительность установки по коксу на 5,7%, светлым дистиллятам и газам коксования на 5,26%.
2. Разработана новая технологическая схема установки замедленного коксования и обеспечена её надёжность контрольно-измерительными приборами и базовой автоматизацией.
3. Проведены инженерно-технологические расчёты основной и вспомогательной стадий процесса. Расчет с применением пакета прикладных программ AspenTech Hysys показал, что установка циклона для очистки отходящих парогазовых продуктов коксования с содержанием коксовой мелочи до 1% масс. позволит отделить 41,89 кг частиц в час при КПД циклона 96,24 %.
4. Проанализирована безопасность и экологичность установки замедленного коксования. Установлено, что по противопожарной безопасности установка относится к категории «А», по классификации взрывоопасных производств относится к категории «В-1а».

Список использованных источников:

- 1 М.В. Кретинин. Механотехнологические аспекты производства нефтяного кокса, Уфа, изд. ГУЛ ИНХП РБ, 2009, стр.67, 89-99 .
- 2 Н. Т. Походенко, Б. И. Брондз. Получение и обработка нефтяного кокса. М.: Химия, 1986, с. 124-126
- 3 Н. Т. Походенко, Б.И. Брондз. Эксплуатация и пути повышения надежности работы реакторов установок замедленного коксования. М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1983, с. 6
- 4 Д.Ф.Варфоломеев, А.И.Стехун, Сырье коксования и эффективность его использования, М., ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1987, с. 28-33
- 5 Р. А.Каримов, Л.Д.Шихализаде, Н.А.Салимова, Т.Ф.Ганиева, М. Дакакни. Нефтепереработка и нефтехимия, 1987, 12, с. 3-4
- 6 В. Е. Федотов, А. И.Стехун, А.Д.Макаров, С.А.Мустафин, Нефтепереработка и нефтехимия, 1983, 4, с. 9-11
- 7 С.А.Ахметов. Технология глубокой переработки нефти и газа. - Уфа: Гилем, 2002 г., стр.378-389
- 8 Танатаров, М.А. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учеб. пособие для вузов / М.А. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов и др. М.: Химия, 1987. - 352 с. ; 22 см. - 7400 экз.
- 9 Ахметов С.А. Технологические расчеты реакционных аппаратов нефтепереработки.- Уфа: Учеб. пособие, 2013, 167 с.
- 10 Каминский Э.Ф.,Хавкин В.А., Глубокая переработка нефти, М, Техника,ТУМА ГРУПП, 2001, 385 с.



- 11 Проблемы повышения работоспособности реакторов установок замедленного коксования / А.А. Тихонов [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2001. - №10. - с. 17-19.
12. Пат. 2206594 РФ, МПК С10В 55/00. Устройство ввода сырья в реактор для получения нефтяного кокса / И.Р. Хайрудинов, А.А. Тихонов, Н.С. Гаскаров.- Оpubл. 20.06.2003
13. Пат. 2338771 РФ, МПК С10В 55/00. Способ получения низкосернистого нефтяного кокса / В.З. Мордкович, А.Р. Караева, Е.Ю. Харитоновна и др.- Оpubл. 20.11.2008. - Бюл. № 32.
14. Пат. 2210585 РФ, МПК С10В 55/00. Состав сырья для переработки на установках замедленного коксования / И.Е. Кузора, В.М. Моисеев, А.И. Юшинов и др.- Оpubл. 20.08.2003.
15. Пат. 2179175 РФ, МПК С10В 55/00. Состав сырья для получения электродного кокса улучшенного качества / И.Е. Кузора, О.И. Дошлов, А.И. Елшин и др.- Оpubл. 10.02.2002.
16. Опыт эксплуатации и перспективы развития производства электродного кокса на НПЗ ОАО “АНХК” / А.И.Елшин [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2003. - №8. - с. 12-15.
17. Что позволяет Омскому НПЗ делать хороший кокс / М.А. Плеханов [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2000. - №8. - с. 5-8.

18. Выход продуктов при коксовании нефтяных остатков различного происхождения / И.Е. Кузора [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2005. - №2. - с. 7-10.
19. Пат. 2079537 РФ, МПК С10В 55/00. Способ получения нефтяного кокса / Г.Г. Валявин, В.В. Таушев.- Оpubл. 20.05.2007.
20. Пат. 2331663 РФ, МПК С10В 55/00. Способ получения нефтяного кокса / И.Р. Хайрудинов, В.В. Зольников, Б.С. Жирнов и др.- Оpubл. 20.08.2008. - Бюл. № 23.
21. Пат. 2067605 РФ, МПК С10В 55/00. Способ получения нефтяного кокса / В.В. Таушев.- Оpubл. 10.10.1996.  
Химия и технология топлив и масел. - 2005. - №3. - с. 22-25.
22. Образование агрегативно устойчивых нефтяных эмульсий в процессе замедленного коксования тяжелых нефтяных остатков и проблемы их переработки / И. Е. Кузора [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2006. - №7. - с. 14-17.
23. Совершенствование систем улавливания продуктов, образующихся при прогреве реакторов, пропарке и охлаждении кокса на установке замедленного коксования / А.А. Тихонов [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2006. - №4. с.10-14.

24. Пути оптимизации схемы охлаждения кокса в коксовых камерах на установке замедленного коксования / И.Е. Кузора [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. - 2008. - №2. -с. 7-9.

25. Пат. 2339674 РФ, МПК C10B 55/00. Способ замедленного коксования нефтяных остатков и реактор коксования / В.В. Таушев, И.Р. Хайрудинов, Е.В. Таушева и др.- Оpubл. 27.11.2008. - Бюл. № 33.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

### **Графические материалы**

**Выполненное в рамках ВКР по теме «Разработка технологических методов повышения надежности установки коксования нефтяных остатков»**



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


Институт нефти и газа

институт

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский

подпись      инициалы, фамилия

« 06 » июня 2017 г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01.07 - Эксплуатация и обслуживание технологических объектов  
нефтегазового комплекса

код – наименование направления

«Разработка технологических методов повышения надежности установки  
коксования нефтяных остатков»

тема

Руководитель

  
подпись, дата

К. Т. Н., доцент

должность, ученая степень

А. К. Данилов

инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

В.А. Рощупкин

инициалы, фамилия

Красноярск 2017